DIE BEDEUTUNG DER THERMOGRAPHIE BEI DER BEURTEILUNG VON KNOCHEN- UND WEICHTEILTUMOREN

Peter Franke

1974

22435

AUS DER ORTHOPÄDISCHEN KLINIK UND DER ORTHOPÄDISCHEN
POLIKLINIK DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN
(Direktor: Professor Dr. A. N. Witt)

DIE BEDEUTUNG DER THERMOGRAPHIE BEI DER BEURTEILUNG VON KNOCHEN- UND WEICHTEILTUMOREN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Peter Franke

aus München

1973

Dissertations-Druck G. Bauknecht · München 40 · Schellingstr. 124 · Tel. 522435

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Professor Dr. K. VIERNSTEIN
Mitberichterstatter:	Professor Dr. A.N. WITT
Dekan:	Professor Dr. W. SPANN

Tag der mündlichen Prüfung: 16. Juli 1974

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Inhaltsverzeichnis

I. EINLEITUNG 1

II. LITERATURÜBERSICHT 3

1. Definition des Begriffes Thermographie 3
2. Geschichte der Thermographie 3
3. Thermographie bei Knochentumoren und tumorartigen Knochenerkrankungen 4

III. THEORETISCHE GRUNDLAGEN 6

1. Infrarotthermographie - Infrarotphotographie . 6
2. Physikalische Grundlagen 6
3. Beschreibung des "System Barnes" 10

IV. UNTERSUCHUNGSTECHNIK 11

1. Untersuchungsaufbau 11
2. Durchführung der Untersuchung 12

V. NORMALES THERMOGRAMM 15

VI. THERMOGRAMM BEI KNOCHENTUMOREN UND TUMORARTIGEN KNOCHENERKRANKUNGEN 18

1. Patientengut 18
2. Voraussetzungen der thermographischen Tumordiagnostik 19
3. Ergebnisse der Thermographie im Vergleich zu Röntgenbild, Angiogramm und Szintigramm ..21

VII. DISKUSSION 34

VIII. ZUSAMMENFASSUNG 42

Literatur 43

INHALTSVERZEICHNIS

I. EINLEITUNG

Zur Diagnose von Knochen- und Weichteiltumoren werden heute außer den allgemeinen klinischen, röntgenologischen und histologischen Verfahren in immer stärkerem Maße Spezialmethoden angewandt, gilt es doch die Dignität und Ausdehnung einer solchen Erkrankung möglichst frühzeitig festzustellen, um die geeignete Therapie schnellstens in die Wege zu leiten.

Nur wenige Knochentumoren zeigen eine artspezifische Gesetzmäßigkeit ihres klinischen und röntgenologischen Bildes.
Zwar kann man radiologisch Knochenprozesse relativ frühzeitig erfassen, jedoch kann die Abgrenzung von Knochentumoren gegenüber tumorartigen Knochenerkrankungen mitunter recht schwierig sein. Auch die biologische Dignität kann nicht immer sicher beantwortet werden.
So kann man nicht selten falsche Schlüsse ziehen und dadurch die adäquate Behandlung verzögern oder eine falsche Therapie einleiten.

Zur Unterstützung der klinisch- radiologischen Untersuchungen werden als Spezialverfahren in der Diagnostik von Knochentumoren heute vielfach die Angiographie und die Knochenszintigraphie angewandt. Beide Methoden, vor allem aber die Angiographie, haben sich bisher in der klinischen Anwendung bewährt.

Ein Symptom, das bisher wenig berücksichtigt wurde, ist die Hyperthermie der Haut im Bereich eines Tumors.
In die Medizin wurde die Thermographie vor noch nicht einmal zwanzig Jahren als diagnostisches Verfahren eingeführt; am bekanntesten ist ihre Anwendung bei der Erkennung des Mammakarzinoms.

Im orthopädischen Bereich wird die Thermographie erst seit kurzem als diagnostisches Hilfsmittel verwendet.

Diese Arbeit soll Möglichkeiten und Grenzen aufzeigen, die sich aus der Anwendung der Thermographie zur Beurteilung von Knochen- und Weichteiltumoren, sowie tumorartigen Knochenläsionen ergeben.

II. LITERATURÜBERSICHT

1. Definition des Begriffes Thermographie

Thermographie wörtlich übersetzt bedeutet "Wärmeschreibung". Die Arbeitsweise des Thermographiegerätes ist damit allerdings nur ungenau beschrieben. WOLFE lieferte eine genauere Definition, die auch der Arbeitsweise des Gerätes gerecht wird. Er schlug die Begriffe 'infrared radiographic" für die Technik, "infrared radiograph" für das Gerät und "infrared radiogram" für die hierbei gewonnene bildliche Darstellung vor. Diese Ausdrucksweise berücksichtigt vor allem, daß bei dieser Technik nicht Hitze oder Temperatur gemessen werden, sondern die Strahlenemission eines Körpers, speziell die Intensität und Verteilung seiner infraroten Eigenstrahlung. Diese Meßgröße erst erlaubt einen Rückschluß auf die Temperatur des Körpers.
Allerdings haben sich die Begriffe Thermographie und Thermograph für die Methode und das Gerät weithin eingebürgert.

2. Geschichte der Thermographie

Die infrarote Eigenstrahlung eines Körpers als Grundlage zur Messung der Hauttemperatur wurde 1924 von COBET und BRAMIGK herangezogen. Sie wiesen auch auf die Vorteile dieses Verfahrens gegenüber der einfachen Kontaktmessung hin, deren Nachteile KRÖBEL folgendermaßen formulierte:

1) die Kontaktsonde mißt nur einen kleinen Hautbezirk; es können keine größeren Flächen gleichzeitig gemessen werden.
2) nur ein Teil der Sonde steht mit der Haut in Verbindung,

der übrige wird von der wesentlich kühleren Raumtemperatur beeinflußt. Wenn z. B. die Temperatur des umgebenden Raumes 20°C beträgt, liegt die Abweichung der gemessenen Hauttemperatur bereits 1°C bis 3°C unter dem tatsächlichen Wert.

3) ferner ist unterschiedlicher Druck der Sonde auf die Haut eine große Fehlerquelle.

HARDY stellte 1934 sein "Radiometergerät" vor, ein Apparat, dessen Empfindlichkeit wesentlich höher lag. Infolge der hohen Kosten fanden diese Apparaturen jedoch keinen Eingang in die Kliniken, wo man sich mit der weit billigeren Methode der Hauttemperaturmessung mittels Kontaktsonde begnügte.
LAWSON gelang es 1957, die Messung der infraroten Eigenstrahlung in der Klinik wieder einzuführen, nachdem er die Bedeutung dieses Verfahrens bei der Diagnostik des Mammakarzinoms erkannt hatte.

3. Thermographie bei Knochentumoren und tumorartigen Knochenerkrankungen

Ausgehend von der Tatsache, daß Tumoren und tumorartige Erkrankungen des Skeletsystems oft mit deutlicher Erwärmung des darüberliegenden Hautareals einhergehen, haben schon mehrere Autoren auf die diagnostischen Möglichkeiten der Infrarotthermographie bei derartigen Prozessen hingewiesen. Ermutigt wurde man nicht zuletzt durch die Erfolge, die man bei der Erkennung des Mammakarzinoms verzeichnen konnte.

1967 gab GROS aus Straßburg eine Zusammenfassung der Anwendungsmöglichkeiten der Infrarotthermographie. Er legte darin dar, daß es möglich sei, halbtief sitzende primäre maligne Knochentumoren zu registrieren.

BRASHFIELD konnte bei vier Patienten mit Bronchialkarzinom Metastasen im Humerus, in der Lendenwirbelsäule und im knöchernen Becken nachweisen, die als heiße Areale im Thermogramm hervortraten. Er stellte ferner fest, daß es Tumoren gibt, die sich als thermographisch heiß, andere, die sich als kalt darstellten.
HENKEL und WATMOUGH gaben 1969 an, daß sich aufgrund ihrer Untersuchungen Knochentumoren und Metastasen bereits vor dem Auftreten röntgenologischer Zeichen erfassen lassen.
Auch NOTTER und MELANDER fanden bei Knochenmetastasen eine deutliche Temperatursteigerung (über 2°C) über den entsprechenden Hautarealen.
GERSHON- COHEN bestätigte diese Ergebnisse aufgrund eigener Erfahrungen.
POSER stellte anhand von thermographischen Untersuchungen verschiedener Knochenerkrankungen bei mehreren Patienten fest, daß sämtliche Knochenprozesse maligner Art thermographisch nachgewiesen werden konnten, während benigne Tumoren "kalt" blieben.
Auch der Holländer AARTS konnte 1969 bei thermographischen Untersuchungen einiger maligner Knochenerkrankungen entsprechende Temperaturerhöhungen feststellen.

III. THEORETISCHE GRUNDLAGEN

1. Infrarotthermographie - Infrarotphotographie

Luft- und Raumfahrttechnik im zwanzigsten Jahrhundert trieben wegen der militärischen Anwendungsmöglichkeiten die Konstruktion von Geräten voran, mit denen man auf weite Entfernungen hin durch die infrarote Strahlung Temperaturmessungen durchführen konnte. Das Ergebnis wurde auf einer photographischen Platte als sogenanntes "Wärmebild" festgehalten.
Der Vorteil dieser Methode liegt darin, daß man keinen direkten Kontakt mit dem Objekt herzustellen braucht, sondern auf Distanz messen kann. Außerdem ist man unabhängig von der jeweiligen Beleuchtung.

Die Herstellung eines solchen Wärmebildes hat nichts mit der landläufigen Infrarotphotographie zu tun, die nur die Reflexion von Infrarotstrahlen durch einen Körper erfaßt, während bei der Infrarotthermographie die infrarote Eigenstrahlung eines Körpers gemessen wird.

2. Physikalische Grundlagen

Die infrarote Strahlung ist seit dem Anfang des 19. Jahrhunderts durch die Entdeckungen Sir WILLIAM HERRSCHELs und seines Sohnes J.F.W. HERRSCHEL bekannt.

Die Grundlage der thermographischen Messung beruht auf der Tatsache, daß jeder Körper oberhalb des absoluten Nullpunktes (0° K = -273° C) infrarote Strahlung aussendet.
Als Infrarot (oder auch Ultrarot) bezeichnet man den jenseits von rot liegenden, unsichtbaren langwelligen Anteil des Spektrums von 0,8μ bis 500μ.

Bei der Infrarotstrahlung handelt es sich dabei hauptsächlich um eine Art von Wärmeabgabe, die man Wärmestrahlung oder auch Wärmeemission nennt. Diese Strahlen stellen elektromagnetische Wellen dar, die das Vakuum durchdringen können und nicht an Materie gebunden sind. Daraus ist ersichtlich, daß weder Kontakt mit dem Körper - wie bei der Wärmeleitung - noch ein flüssiges oder gasförmiges Medium - wie bei der Wärmekonvektion - notwendig ist.
Die Wärmeemission eines Körpers kann man mit Hilfe der Infrarotthermographie festhalten. Sie stellt somit die meßbare Größe dar.
Die menschliche Haut, der diese Messung gilt, verhält sich hierbei wie ein physikalisch schwarzer Körper, d. h. ein theoretischer Körper, der im Idealfall genauso leicht Strahlung abgibt, wie er sie aufnimmt.
MAX PLANCK konnte im Jahre 1900, ausgehend von der Quantentheorie, die Strahlungsintensität eines solchen schwarzen Körpers berechnen.
Daß sich die menschliche Haut - mit Ausnahme von Schwielen u.ä.- praktisch wie ein schwarzer Körper verhält, konnte durch mehrere Autoren (BUCHMÜLLER, KRÖBEL, BÜTTNER u. a.) experimentell nachgewiesen werden.
BUCHMÜLLER lieferte den Beweis dadurch, daß er die Emission der menschlichen Haut mit der eines eigens konstruierten schwarzen Körpers verglich und bei seinen Messungen praktisch völlige Übereinstimmung fand.
Das heißt: die menschliche Haut absorbiert auffallende Strahlung und sie emittiert Strahlung, was man mit Hilfe des Planck'schen Strahlungsgesetzes folgendermaßen ausdrücken kann:

$$1) \quad Q\lambda = c_1 \varepsilon\lambda \cdot \lambda^{-5} \quad (\exp. \; c_2 \lambda T - 1)$$

c_1 und c_2 sind Konstanten
$\varepsilon\lambda$ bezieht sich auf die Emissivität der Haut bei der Wellenlänge λ.

Durch Integrieren der Gleichung erhält man die Gesamtenergie für ein für alle Wellenlängen λ empfindliches Gerät, vorausgesetzt ε ist von der Temperatur T unabhängig.
Diese Strahlungsenergie, die von der menschlichen Haut emittiert wird, kann gemessen werden und bildet somit die Grundlage der Infrarotthermographie.

Abbildung 1 zeigt die Intensitätsverteilung der Strahlung eines schwarzen Körpers als Funktion der Wellenlänge. Wie aus dieser Abbildung zu ersehen ist, liegt die Wärmeemission der menschlichen Haut zwischen einer Wellenlänge von 3μ bis etwa 30μ, mit einem Maximum (λ_{max}) bei etwa 10μ. Somit liegt praktisch die gesamte Wärmestrahlung in einem Wellenbereich, der ganz im Infraroten liegt.
Die Energie der Lichtquanten in dieser Zone beträgt etwa 5% der des sichtbaren Lichtes. Das reicht natürlich nicht zur Schwärzung einer photographischen Platte aus. Um einen registrierbaren Effekt zu erreichen, müssen diese geringen Energieen in geeigneter Weise verstärkt werden. Dies geschieht durch sogenannte Infrarotdetektoren, die sehr empfindlich auf diese Strahlung reagieren und sie in ein elektronisch verstärktes Signal verwandeln.
Als solche Detektoren eignen sich Zellen aus Tellur, Bleiselenid, Bleitellurid, golddotiertes Germanium und Indiumantimonit. Letzteres wird heute bevorzugt verwendet.

Das zu messende Körperareal wird Punkt für Punkt durch eine Optik abgetastet, das entsprechende Detektorsignal verarbeitet und zu einem Bild zusammengefügt.
Die Daten, die für ein Infrarotthermographiesystem bedeutungsvoll sind, hat BECKMANN in drei Hauptgruppen zusammengefaßt:

1.) Auflösung und Abtastzeit eines Bildes
2.) die spekrale Empfindlichkeit des Detektors
3.) die optischen Daten des Systems

Von diesen Größen hängt die Qualität eines Wärmebildes ab. BECKMANN hat sie durch folgende Formel miteinander in Beziehung gebracht:

$$2)\quad \frac{\Delta T_{äq}\sqrt{t - t_o}}{n} = \frac{1}{D^*p \cdot N_{eff} \cdot dV} \cdot \frac{f}{\sqrt{2B \cdot p \cdot A_o}}$$

wobei:

$\Delta T_{äq}$: rauschäquivalente Temperaturdifferenz
n : Anzahl der Bildpunkte
t : Aufnahmedauer für ein Bild
t_o : Totzeit (Rücklaufzeit des Abtastspiegels u.ä.)
D^*p : Gütezahl ("Detektivität") des Infrarotdetektors
N_{eff} : effektive Strahlungsdichte (Radianz) des Objekts
dV : relative Änderung der effektiven Strahlung pro Grad Temperaturänderung
f : Brennweite der Optik
B : Bild- Raumwinkel
p : Wirkungsgrad der Optik und Elektronik
A_o : Eintrittsapertur der Optik

Je kleiner der Ausdruck auf der rechten Seite der Gleichung wird, umso besser ist die Qualität des Wärmebildes. Temperaturauflösung, Anzahl der Bildpunkte und Abtastzeit müssen also dementsprechend gut aufeinander abgestimmt sein. Man müßte beispielsweise, um ein Wärmebild mit doppelter Bildpunktzahl zu erreichen, das Vierfache an Zeit dafür aufwenden.

Der Infrarotthermograph, der in der Orthopädischen Universitätsklinik München verwendet wird, stammt von der Firma "Barnes Engineering Company, Stanford, Conn."
Diese Apparatur berücksichtigt weitgehend die oben erwähnten Faktoren und bietet eine gute Kompromißlösung zwischen den Faktoren der Gleichung 2.
Während einer Aufnahmedauer von circa vier Minuten liefert das Gerät 60 000 Bildpunkte bei einer Temperaturauflösung von 0,08° C. Hierdurch erzielt man Wärmebilder von sehr guter Qualität.

3. Beschreibung des "System Barnes" (siehe Abb. 2)

Ein Planspiegel (1) tastet ein Feld von 20° Breite und 10° Höhe ab und leitet die Strahlen auf einen Kollimatorspiegel (2). Hier wird die Strahlung fokussiert und auf den Detektor (3) geworfen. Dabei wird sie von einem rotierenden Chopper (4) in regelmäßigen kurzen Abständen unterbrochen. Auf diese Weise erhält man an dem Detektor eine Wechselspannung, die sich leichter verstärken läßt.
Diese Impulse werden verstärkt und gleichgerichtet an eine Glimmlampe mit Hohlkathode (5) geleitet. Die Helligkeit dieser Lampe ändert sich synchron mit den einfallenden Wärmestrahlen. Die Glimmlampe sendet nun im Rhythmus mit den vom Detektor einlaufenden Impulsen ihre Strahlen über einen Abtastspiegel in eine Photokammer (6), die vor einer Aufnahme mit einem Polaroidfilm beschickt wird
Zum exakten Temperaturvergleich wird bei jeder Messung eine geeichte thermische Grauskala (7) mit aufgenommen.
Die Optik des Gerätes kann mit Hilfe eines Lichtkreuzes, das auf das Untersuchungsfeld geworfen wird, bei unterschiedlichen Aufnahmedistanzen präzis fokussiert werden.

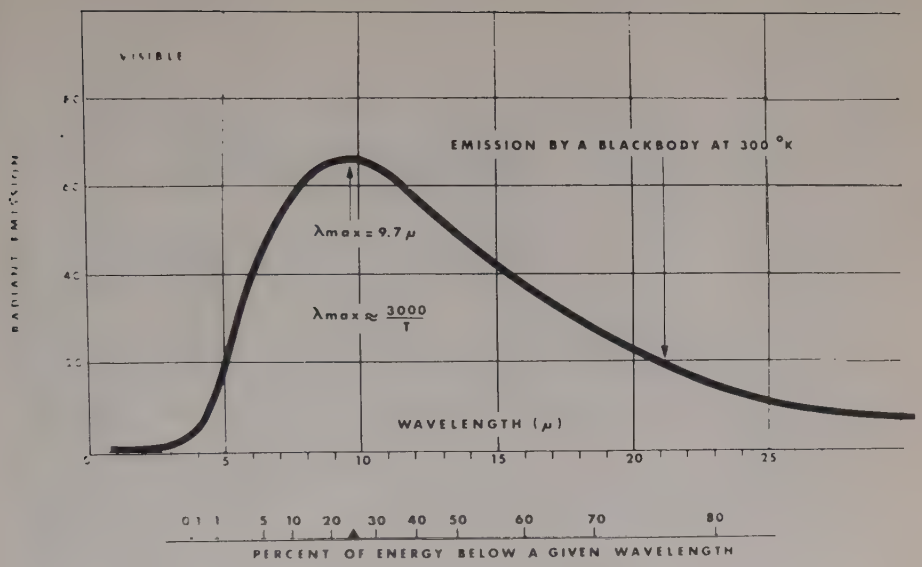

VISIBLE
EMISSION BY A BLACKBODY AT 300 °K
λmax = 9.7 μ
λmax ≈ 3000/T
WAVELENGTH (μ)
0
5
10
15
20
25
0.1 1 5 10 20 30 40 50 60 70 80
PERCENT OF ENERGY BELOW A GIVEN WAVELENGTH

ABB. 1

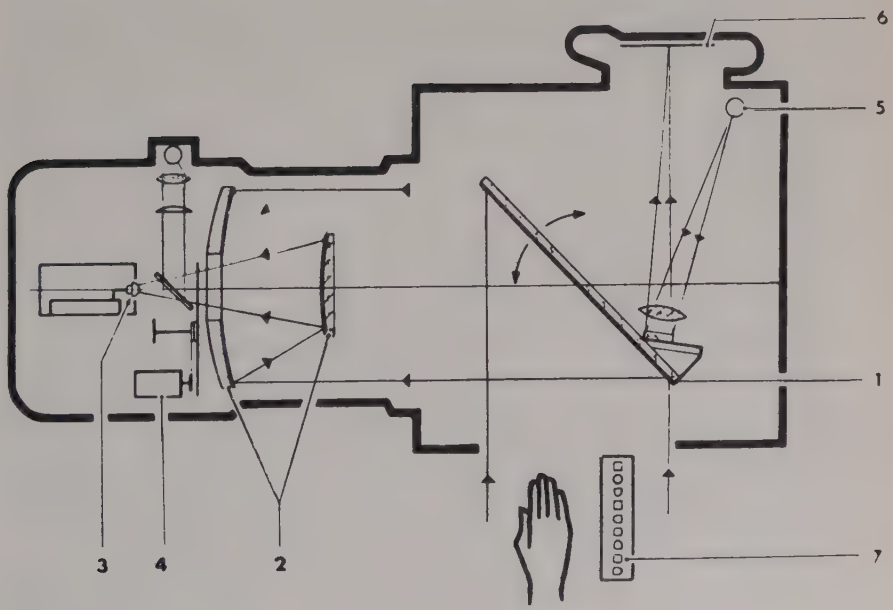

6
5
1
7
3
4
2

ABB. 2

IV. UNTERSUCHUNGSTECHNIK

1. Untersuchungsaufbau (siehe Abb. 3)

Der Thermograph kann auf einem fahrbaren Stativ in beliebige Entfernung zu dem zu untersuchenden Patienten geschoben werden. Dabei ist zu bedenken: je näher man den Apparat an das Untersuchungsfeld bringt, desto kleiner ist der Ausschnitt, der vom Suchstrahl abgetastet wird. Das ist beispielsweise zur ausschließlichen Untersuchung der Hände oder Füße vorteilhaft. Für Messungen an den Beinen und am Rumpf wählt man einen größeren Abstand. Normalerweise arbeitet man bei Entfernungen zwischen 0,50 und 2,50 Meter.
Mit dem Infrarotthermographen ist ein Kathodenstrahloszillograph gekoppelt. Das hat den Vorteil, daß die elektrischen Impulse auf der Mattscheibe des Oszillographen direkt beobachtet werden können. Man hat dadurch einen Anhalt für die auftretenden Temperaturdifferenzen.
Anhand dieses Bildes kann man nun die beste Einstellung zwischen der Empfindlichkeit (Sensivity) und dem Kurvenmaßstab (Brightness) wählen.
Ein weiteres Zusatzgerät ist die thermische Grauskala, eine geeichte Skala, auf der in zehn kleinen quadratischen Flächen konstant bekannte Temperaturen von 20° C bis 40° C erzeugt werden, sobald sie an das Stromnetz angeschlossen ist. Diese Eichskala wird neben das zu untersuchende Körperareal gestellt und bei der Messung dadurch mit erfaßt und entsprechend der vorgewählten Sensivity im Wärmebild mit aufgezeichnet. Man besitzt dadurch eine Vergleichsskala, mit deren Hilfe man das Wärmebild besser beurteilen kann. Für genauere Messungen steht ein Photokomparator zur Verfügung, der Hell- Dunkelschattierungen wieder in Zahlenwerte umwandeln kann.

Der Patient liegt entkleidet auf einem Untersuchungswagen. Um ein Verwackeln des Bildes wegen einer unbequemen Position während der immerhin vier Minuten dauernden Aufnahmezeit zu verhindern, soll der Patient eine möglichst entspannte Lage, z. B. Rücken- oder Bauchlage einnehmen können.
Dadurch wird allerdings der Strahlengang vom Gerät zum Untersuchungsfeld um 90° verändert. Über dem Patienten ist deshalb in einem halben Meter Höhe ein großer Umkehrspiegel im 45°- Winkel angebracht.

2. Durchführung der Untersuchung

Der Patient wird entkleidet und zunächst in die für die Untersuchung zweckmäßigste Position gebracht. Beispielsweise lagert man zur Untersuchung der Vorderfläche der Beine den Patienten in bequemer Rückenlage auf dem Wagen. Zur Aufzeichnung der Temperatur der Hände ist eine andere Lagerung notwendig: man läßt den Patienten vor dem Wagen sitzend seine Hände auf den Wagen unter den Umkehrspiegel legen. Für Aufnahmen des Rumpfes kann man je nach Untersuchungsregion Rückenlage, Seitenlage oder Bauchlage einnehmen lassen.
Thermograph und Untersuchungswagen werden nun so lange gegeneinander verschoben, bis das zu messende Körperfeld zur optimalen Darstellung kommt.

Um Verfälschungen durch Perspiration möglichst gering zu halten, führt man die Messung nicht gleich nach dem Entkleiden durch, sondern läßt dem Patienten etwa fünfzehn bis zwanzig Minuten Zeit, sich an die Raumtemperatur anzugleichen.
Nach dieser Akklimatisationszeit erzielt man in der Regel auch bei Patienten, die sehr zum Schwitzen neigen,oder aufgrund der ungewohnten Umgebung aufgeregt sind, gute Ergebnisse.

1 STROMQUELLE

2 HAUPTSCHALTER

3 UNTERSUCHUNGSWAGEN

4 TEMPERATURSKALA

5 UMKEHRSPIEGEL

6 THERMOGRAPH

7 OSZILLOGRAPH

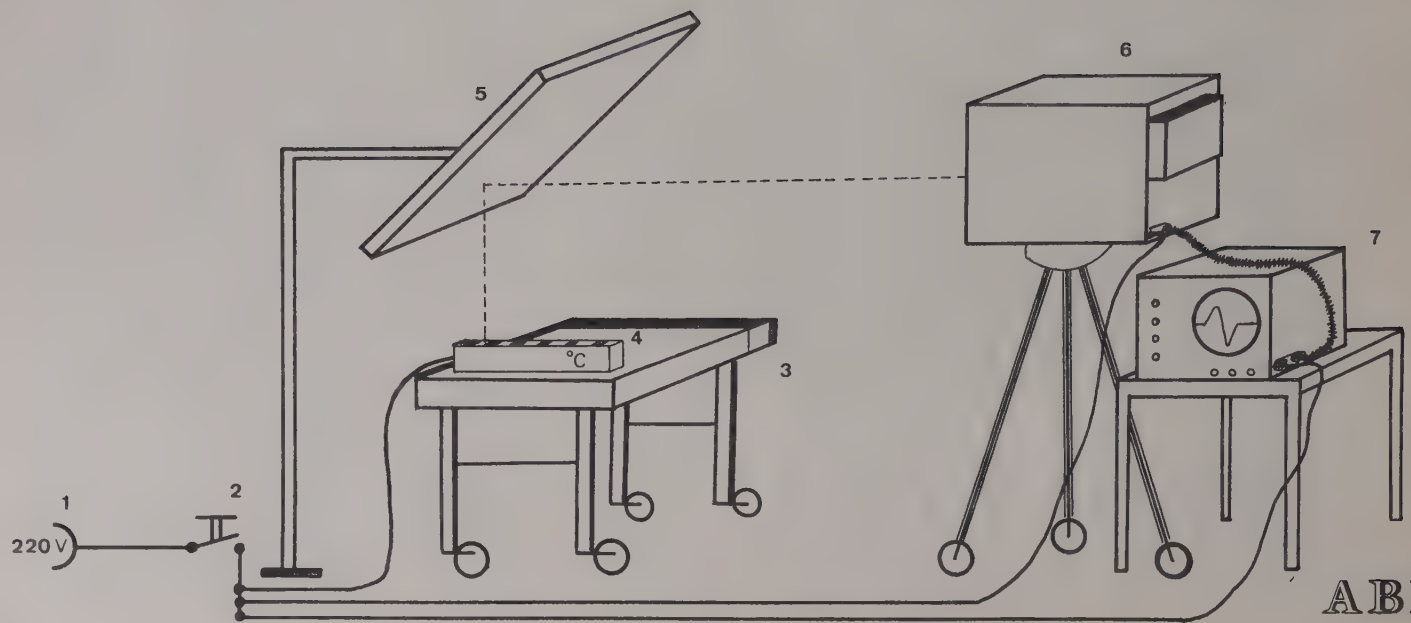


ABB. 3

Während dieser Zeit wird die Einstellung von Sensivity und Brightness entsprechend der am Oszillographen auftretenden Temperaturmaxima und - minima vorgenommen. Dabei wird die Optik mit Hilfe eines Lichtkreuzes auf die zu untersuchenden Hautareale scharf eingestellt.
Trotzdem bleibt meist noch genug Zeit, um vom Kranken eine kurze Anamnese zu erheben.
Kurz vor der eigentlichen Messung werden die Einstellungen überprüft und gegebenenfalls korrigiert.
Dann wird ein Polaroidfilm in die Kassette des Thermographen eingelegt: das Gerät ist nun aufnahmebereit.
Nach Beendigung der Messung wird der Film wieder aus der Kassette gezogen, wobei er zwischen zwei Walzen durchläuft, die gleich Entwicklerflüssigkeit auf dem Film verteilen. Nach fünfzehn Sekunden ist das Bild fertig enteickelt. Anschließend wird es sofort fixiert und an der Luft etwas getrocknet. Nun kann das Thermogramm ausgewertet werden.

In dem Raum, in dem die Untersuchung stattfindet, werden Temperatur und Luftfeuchtigkeit konstant gehalten, denn die Beeinflussung der Hauttemperatur durch die Durchblutung einerseits und durch die Raumtemperatur andererseits, spielt eine wichtige Rolle.
ASCHOFF hat in zahlreichen Messungen nachgewiesen, daß erst bei einer Raumtemperatur unterhalb von 21° C die Hauttemperatur der Hand mit der des umgebenden Raumes annähernd zusammenfällt.
Diese Tatsachen müssen bei der thermographischen Untersuchung mit berücksichtigt werden, denn den physiologischen Temperaturschwankungen von 2° C bis 3° C steht eine Meßgenauigkeit von 0,08° C gegenüber. Hieraus wird ersichtlich, daß die Messungen unter standardisierten Bedingungen zu erfolgen haben, um ein brauchbares Resultat zu erhalten.

Wir untersuchten deshalb unsere Patienten in einem gleichmäßig klimatisierten Raum von 19° C bis 20° C und 60 % Luftfeuchtigkeit, um Änderungen des peripheren Durchblutungsmaßes möglichst niedrig zu halten.
Auf eine andere Fehlerquelle wies TISELIUS hin: Nahrungsaufnahme und Nikotingenuß wirken auf die periphere Blutzirkulation und beeinflussen damit auch die Hauttemperatur.
NILSSON gab außerdem zu bedenken, daß sich durch unterschiedliche Einstellung und Empfindlichkeit des Gerätes systematische Fehler ergeben können.
Erst im Vergleich mehrerer unter konstanten Bedingungen durchgeführten Messungen gewinnt das Thermogramm an Aussagekraft, inwieweit eine pathologische Hyperthermie oder Hypothermie vorliegt.

V. NORMALES THERMOGRAMM

Um ein pathologisch verändertes Thermogramm richtig interpretieren zu können, ist die Kenntnis des normalen Thermogramms mit seinen physiologischen Variationen wichtig.
Zu diesem Zweck wurden über fünfzig gesunde Personen verschiedenen Alters und Geschlechts und von unterschiedlicher Konstitution thermographisch untersucht. (TRÖGER)
Wie die Versuchsergebnisse zeigten, stellten sich die Muskelpartieen der Extremitäten als warme Areale dar. Muskelfreie Zonen, wie z. B. die Gelenke, liegen dabei wesentlich unter dem Wärmeniveau, das für muskelbedeckte Regionen charakteristisch ist. Im Thermogramm werden sie als deutlich hypotherme Zonen abgebildet.
Dieses Phänomen soll an Hand eines Normalthermogramms der unteren Extremitäten näher erläutert werden (Abb. 4):
Man erkennt deutlich die Konturen beider Beine in Schwarzweißschattierungen.
Die Haut der Oberschenkel stellt sich fleckig marmoriert dar. Mehrere dieser Flecken haben wabenförmiges, manchmal sogar polygonales Aussehen. Wahrscheinlich entspricht diese Anordnung den oberflächlichen Hautvenengeflechten. Möglicherweise wird sie auch durch die Menge des subkutanen Fettgewebes mitbestimmt, da es bei Frauen und adipösen Männern zu einer weit deutlicheren Ausbildung dieser Strukturen kommt, als dies bei muskulösen oder asthenischen Versuchspersonen der Fall ist.
Die Kniegelenksgegend stellt sich aus den oben erwähnten Gründen als hypotherme Region dar.
Dagegen wird der Unterschenkel wegen der Wadenmuskulatur normalerweise als warme Zone abgebildet, während im Bereich des Sprunggelenkes wieder eine deutliche Hypothermie festzustellen ist.

Natürlich können auch kältere Bezirke zur Darstellung gebracht werden, wenn man Sensivity und Brightness entsprechend aufeinander abstimmt. Eine genaue Analyse der wärmeren Bezirke ist dann allerdings nicht mehr möglich, da sie dann als ein einziges ineinander konfluierendes Helligkeitsmaximum dargestellt werden.

Eine Seitendifferenz bis zu 0,4° C ist bei den meisten Probanden festzustellen. Man könnte dies dadurch erklären, daß ein Bein als Stand- oder Sprungbein (meist das rechte) größeren Belastungen ausgesetzt und dadurch besser durchblutet ist, als das andere.
Die Zehen können bei dieser Aufnahmetechnik nicht mit abgebildet werden, da sie im Verhältnis zur übrigen Extremität eine zu tiefe Temperatur aufweisen. Außerdem werden sie bei normaler Rückenlage des Patienten durch die rechtwinklige Abknickung im Sprunggelenk vom Abtaststrahl longitudinal getroffen. Man muß daher von den Füßen und Zehen in der Regel gesonderte Aufnahmen herstellen. Sensivity und Brightness müssen dann so empfindlich eingestellt werden, daß auch solche Hautbezirke zur Darstellung kommen, die eine tiefere mittlere Hauttemperatur aufweisen.
In analoger Weise läßt sich die obere Extremität darstellen.

Zusammenfassend kann man sagen, daß im Normalthermogramm warme und kalte Areale auftreten. Die Gelenke werden als kalte Zonen sichtbar.
So wäre eine Temperaturerhöhung im Gelenkbereich auf jeden Fall nicht physiologisch. Solche Hyperthermieen kommen beispielsweise infolge entzündlicher oder traumatischer Veränderungen vor.
THALMANN konnte bei thermographischen Untersuchungen von vierzig Patienten mit primär chronischer Polyarthritis (PCP) nachweisen, daß diese Erkrankung in den Stadien I - III immer mit einer Temperaturerhöhung im Bereich der Gelenke einhergeht.

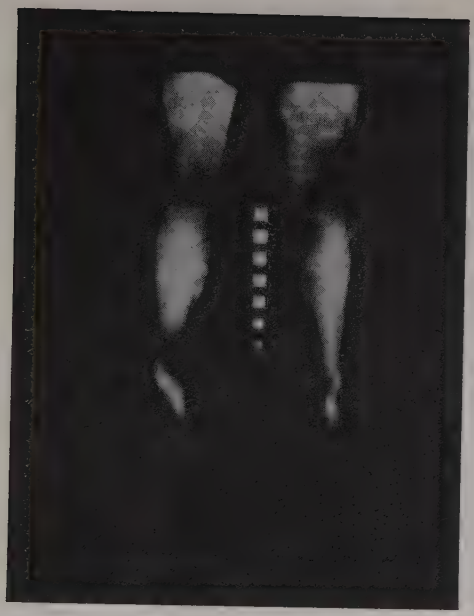


Abb. 4
Normales Thermogramm beider Beine
einer 56-jährigen Frau.
(Aufnahme in Rückenlage)

Auch PSCHORR zeigte an Hand von 120 thermographischen Aufnahmen, daß bei traumatischen Kniegelenksschädigungen stets entsprechende heiße Bezirke im Thermogramm zu verzeichnen waren. Kommt es im Gegensatz dazu durch Funktionseinschränkung des versorgenden Gefäßgebietes zu einer Reduktion des Stoffwechsels, so werden im Thermogramm deutlich hypotherme Zonen sichtbar. Solche Beobachtungen machte man beispielsweise bei peripheren Nervenläsionen (BUBSER) oder nach Immobilisation einer Extremität im Gipsverband (HALBECK).

Man kann allerdings nicht allein von einer Temperaturerhöhung oder Temperaturerniedrigung auf ein bestimmtes pathologisches Substrat schließen. Das Thermogramm für sich erlaubt keine artdiagnostische Aussage. Erst in Kombination mit anderen klinischen oder radiologischen Symptomen kann es zu einer diagnostischen Abklärung beitragen.

VI. THERMOGRAMM BEI KNOCHENTUMOREN UND TUMORARTIGEN KNOCHENLÄSIONEN

1. Patientengut

Vom stationären und ambulanten Krankengut der Orthopädischen Universitätsklinik wurden 56 Patienten mit Knochen- und Weichteiltumoren sowie tumorartigen Knochenerkrankungen thermographisch untersucht.
Davon waren 22 Patienten weiblichen, 34 Patienten männlichen Geschlechts.
Das Alter des jüngsten Patienten betrug 7 Jahre, das des ältesten 67 Jahre. Dabei waren alle Altersgruppen etwa gleich stark vertreten.
Bei den echten Knochentumoren war der Krankheitsprozeß an folgenden Orten lokalisiert: an der Skapula und am Humerus in je vier Fällen; einmal war das knöcherne Becken betroffen, ebenfalls einmal das Kreuzbein und die Lendenwirbelsäule, in elf Fällen der Femur, in sieben Fällen die Tibia und in vier Fällen das Skelet des Fußes.
Die knochentumorähnlichen Prozesse wiesen folgende Lokalisation auf: einmal war der Unterarm, zweimal die Schulter Sitz der Läsion. Siebenmal war der Oberschenkel betroffen, in weiteren dreizehn Fällen der Unterschenkel und in einem Fall die Kleinzehe.
Der Großteil der Patienten wurde operiert, ein Patient ist in der Zwischenzeit (sechs Wochen nach der Operation) verstorben.
In fast allen Fällen von Knochen- und Weichteiltumoren konnte die Diagnose durch den pathohistologischen Befund gesichert werden.

2. Voraussetzungen der thermographischen Tumordiagnostik

Die Anwendungsmöglichkeit der Thermographie bei der Erfassung von Knochentumoren basiert auf der Annahme, daß wachsende Tumoren Wärme produzieren.
Die Überwärmung kommt durch die erhöhte Vaskularisation und durch gesteigerte Stoffwechselprozesse im Tumorbereich zustande. Das Ergebnis einer registrierbaren endotumoralen Wärmebildung stellt sich im Thermogramm als heißes Areal dar, das sich aus der umgebenden Körperregion deutlich sichtbar hervorhebt. Entscheidend ist hierbei der Vergleich mit der Gegenseite.

Jedoch lassen sich im Thermogramm Sitz und Ausdehnung des Prozesses oft nicht exakt bestimmen. Meist wird ein größerer Bezirk als heiß registriert, als der tatsächlichen Ausdehnung des Tumors entspricht.
Dies hängt neben der eingestellten Empfindlichkeit des Gerätes vor allem von der Tiefenlage des Tumors und vom Wärmeleitvermögen der den Tumor umgebenden Gewebe ab. (Abb. 5)

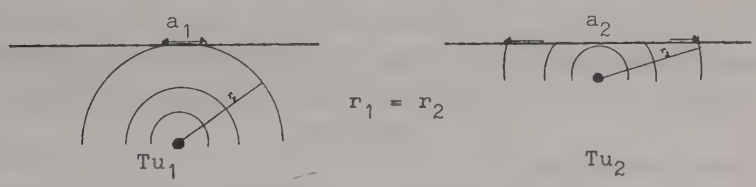


Abb. 5:
Stellt man sich vereinfachend den Tumorherd kugelförmig vor, so breitet sich die von ihm produzierte Wärme konzentrisch um ihn aus. Liegt er dicht unter der Haut (Tu_2), so wird vergleichsweise mehr Wärme bis zur Oberfläche gelangen, als wenn er - gleiche Wärmeproduktion vorausgesetzt - in der Tiefe liegt (Tu_1

Die anamnestischen Angaben der Patienten waren im allgemeinen karg. Meistens klagten sie über Schwellung, Schmerz oder über teilweise Funktionseinschränkung. In fünf Fällen war eine Deformierung des entsprechenden Skeletabschnittes zu beobachten. In keinem Fall war es zu einer pathologischen Fraktur gekommen.

Bei sämtlichen Patienten konnte ein Röntgennativbild zum Vergleich herangezogen werden. In 36 Fällen wurde außerdem ein Angiogramm angefertigt, darüber hinaus bei 45 Patienten ein Knochenszintigramm. Diese Zusatzuntersuchungen waren zeitlich so aufeinander abgestimmt, daß man in fast allen Fällen den Krankheitsprozeß bei einem Patienten synchron mit mehreren diagnostischen Verfahren in einer Phase dokumentieren konnte. 32 Patienten konnten allen vier erwähnten Untersuchungen zugeführt werden, so daß man deren Ergebnisse hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit und Aussagekraft untereinander vergleichen konnte.

Bevor die Befunde im einzelnen abgehandelt werden, soll ein kurzer Überblick gegeben werden, nach welchen Gesichtspunkten bei der Auswertung des thermographischen, röntgenologischen, angiographischen und szintigraphischen Befundes vorgegangen wurde.

a.) Das Thermogramm wurde als positiv angesehen, sobald die Temperatur im Vergleich zur Gegenseite um 0,5° C oder mehr erhöht war.

b.) Das Röntgennativbild wurde als positiv gewertet, wenn ein oder mehrere osteolytische oder osteoplastische Herde erkennbar waren.

c.) Das Angiogramm galt als positiv, sobald Zeichen der Malignität festzustellen waren.

Als Zeichen der Malignität zählen (KEYL, HÖR):

1.) multiple Gefäßneubildungen in den Randzonen des Tumors mit anormalem Verlauf (Gefäßknäuel, wirre Durchflechtung, korkenzieherartige Windungen), Kaliberschwankungen und Stenosen.

2.) endotumorale Gefäßseen und Gefäßlakunen, die besonders in der kapillären Phase im Angiogramm in Erscheinung treten.

3.) arterio- venöse Anastomosen mit vorzeitiger Venenfüllung und raschem Durchgang des Kontrastmittels.

d.) Die Knochenszintigraphie wurde als positiv gewertet, sobald sich im Flächenszintigramm ein oder mehrere Herde nachweisen ließen, die für eine deutlich vermehrte Anreicherung des betreffenden ossotropen Radionuklids sprachen. Verwendet wurden die Isotope ^{87m}Sr und in einigen wenigen Fällen ^{99m}Tc - Pyrophosphat.

Die Klassifizierung der primären Knochentumoren erfolgte in Anlehnung an DOMINOK und KNOCH nach der Art des Muttergewebes.

3. Ergebnisse der Thermographie im Vergleich zu röntgenologischen, angiographischen und knochenszintigraphischen Befunden

a) Vom Knorpelgewebe ausgehende Geschwülste (Tab. 1)

Insgesamt wurden elf chondromatöse Tumoren untersucht. Davon waren acht benigner Art: vier Osteochondrome, drei Chondrome und ein Chondroblastom. In zwei Fällen handelte es sich um maligne Chondrosarkome. Hinzu kam ein Chondromyxoidfibrom, das den semimalignen chondrogenen Tumoren zuzurechnen ist.

1.) Im Röntgenbild waren alle chondromatösen Tumoren nachweisbar.

2.) Im Thermogramm war bei allen vom Knorpelgewebe ausgehenden Tumoren eine Hyperthermie festzustellen. Der Sitz und die Ausdehnung des Prozesses waren nicht exakt abgrenzbar und wurden wesentlich größer dargestellt, als dem röntgenologischen Befund entsprach.
Beispielsweise zeigte ein Chondrom des Großzehengrundgliedes eine Temperaturerhöhung, die vom Mittelfuß bis zur Mitte des Unterschenkels reichte. War der Tumor am proximalen oder distalen Ende der Tibia lokalisiert, so war zumeist der gesamte Unterschenkel einschließlich der angrenzenden Abschnitte des Oberschenkels oder des Fußes deutlich überwärmt.
Dabei wurde im Vergleich zur Gegenseite eine Temperaturdifferenz gemessen, die bei den benignen chondromatösen Tumoren zwischen 1,4° C und 4,0° C, bei den malignen zwischen 5,2° C und 5,7° C betrug. Beim semimalignen Chondromyxoidfibrom wurde ein Temperaturunterschied von 4,1° C registriert.

3.) Im Angiogramm konnten bei beiden Chondrosarkomen Zeichen der Malignität nachgewiesen werden.
Bei zwei Osteochondromen, beim Chondroblastom sowie beim Chondromyxoidfibrom ließen sich zwar angiographisch eine vermehrte Gefäßzeichnung, jedoch kein Anhalt für Malignität entdecken.

4.) Szintigraphisch war sowohl bei dreien von den benignen Tumoren (Chondroblastom, zwei Osteochondrome), als auch bei den malignen Chondrosarkomen und beim semimalignen Chondromyxoidfibrom eine fokale Anreicherung des Radionuklids registrierbar.

Zusammenfassend wurde somit gefunden, daß bei allen untersuchten Knorpelgeschwülsten trotz unterschiedlicher biologischer Dignität hypertherme Bezirke im Thermogramm sichtbar wurden.

Die Temperaturdifferenz im Vergleich zur kontralateralen Körperseite war bei den benignen Tumoren weniger stark ausgeprägt, als bei den malignen und semimalignen.
Positive thermographische Befunde gingen immer mit einem positiven radiologischen und knochenszintigraphischen Befund einher.

Tab. 1:
Vergleich von Thermographie, Angiographie, Szintigraphie und Röntgennativbild bei chondromatösen Tumoren. (Beurteilungskriterien s. S. 20 - 21)

Tumorart	Lokalisation	T		R		A		S	
		+	-	+	-	+	-	+	-
Chondroblastom	li Scapula	x		x			x	x	
Chondrom	re Großzehe	x		x					
Chondrom	re Scapula	x		x			x	x	
Enchondrom	li Tibia	x		x					
Osteochondrom	li Tibia	x		x			x	x	
Osteochondrom	re Humerus	x		x			x	x	
Osteochondrom	li Femur	x		x				x	
Osteochondrom	re Tibia	x		x					
Chondromyxoid-fibrom	re Femur, re Tibia	x		x			x	x	
Chondrosarkom	li Femur	x		x		x		x	
Chondrosarkom	li Calcaneus	x		x		x		x	

T : Thermographie R : Röntgennativbild A : Angiogramm
S : Szintigramm

b) Vom Knochengewebe ausgehende Geschwülste

Untersucht wurden sieben ossäre Tumoren, in vier Fällen benigner Art (3 Osteoidosteome, 1 Osteom), in drei Fällen handelte es sich um maligne Osteosarkome.

1.) Radiologisch konnten sämtliche osteogene Tumoren unabhängig von ihrer biologischen Dignität nachgewiesen werden.

2.) Das Thermogramm ließ nur bei den Osteosarkomen heiße Areale erkennen. Eine genaue Abgrenzung des Tumors ließ sich nicht vornehmen. Der in allen drei Fällen am Femur gelegene Prozeß zeigte eine Überwärmung des gesamten Oberschenkels einschließlich der Kniegelenksregion. Die Temperaturdifferenz im Vergleich zur gesunden Extremität betrug 2,0° C bis 4,7° C. Die drei Osteoidosteome und das Osteom waren thermographisch nicht registrierbar.

3.) Die angiographische Untersuchung erbrachte bei zwei Osteoidosteomen ein negatives Ergebnis hinsichtlich von Malignitätszeichen, während sie bei allen drei Osteosarkomen eindeutig den bösartigen Charakter dieser Tumoren sichtbar machen konnte.

4.) Die Szintigraphie zeigte bei allen drei malignen Prozessen, sowie bei einem Osteoidosteom einen positiven Befund. Bei zwei anderen Osteoidosteomen und beim Osteom konnte keine signifikante Aktivitätserhöhung registriert werden.

Zusammenfassend ließ sich zeigen, daß bei den ossären Tumoren nur die malignen Osteosarkome thermographisch nachweisbar waren, während die benignen Tumoren mit Hilfe dieser Methode nicht erfaßt werden konnten.
Die Szintigraphie erbrachte hier sowohl bei gutartigen wie bei bösartigen Tumoren einen positiven Befund.

Tab. 2:
Vergleich von Thermographie, Röntgennativbild, Angiographie und Szintigraphie bei ossären Tumoren.

Tumorart	Lokalisation	T		R		A		S	
		+	−	+	−	+	−	+	−
Osteoidosteom	li Metatarsale		X	X				X	
Osteoidosteom	re Humerus		X	X			X		
Osteoidosteom	re Femur		X	X			X		X
Osteom	Becken		X	X					X
Osteosarkom	re Femur	X		X		X		X	
Osteosarkom	re Femur	X		X		X		X	
Osteosarkom	re Femur	X		X		X		X	

c) <u>Vom osteomyelogenen Gewebe ausgehende Tumoren</u>

Hierbei konnten zwei Patienten mit Plasmozytom und je ein Patient mit Ewingsarkom und eosinophilem Knochengranulom untersucht werden.

1.) In allen vier Fällen konnte im Röntgenbild der Krankheitsprozeß festgehalten werden.

2.) Das eosinophile Knochengranulom erbrachte bei der thermographischen Untersuchung keinen positiven Befund.
Die zwei Fälle von Plasmozytom zeigten im Thermogramm zwar eine Temperaturerhöhung, jedoch war die hierbei gemessene Wärmedifferenz im Vergleich zur Gegenseite mit 1,0° C bis 1,2° C relativ gering.
Bei einem neunjährigen Mädchen mit Ewingsarkom an der Skapula trat im Wärmebild ein umschriebener runder "hot spot" auf.

In seiner Ausdehnung entsprach er etwa der durch Palpation lokalisierbaren Geschwulst (2,5 - 3,0 cm Durchmesser). Die gute Abgrenzbarkeit des Tumors in diesem Fall war vor allem durch die geringe Weichteilüberlagerung des Sarkoms an der Rückfläche der Skapula bedingt. Die Temperaturdifferenz gegenüber der gesunden Seite war mit 7,3° C sehr hoch.

3.) Angiographisch konnte bei beiden Patienten mit Plasmozytom der maligne Charakter der Geschwulst nachgewiesen werden. Beim eosinophilen Knochengranulom blieb diese Untersuchung negativ. Im Fall des Ewingsarkoms war kein Angiogramm vorhanden.

4.) Das Szintigramm zeigte bei allen vier Patienten vermehrte Anreicherung des Radionuklids.

Somit zeigten alle osteomyelogenen Tumoren thermographisch eine Hyperthermie, die beim Plasmozytom nur gering, beim Ewingsarkom jedoch sehr stark in Erscheinung trat. Die Szintigraphie kam in diesen Fällen auch zu positiven Ergebnissen.

Tab. 3:
Vergleich von Thermographie, Röntgennativbild, Angiographie und Szintigraphie bei osteomyelogenen Tumoren.

Tumorart	Lokalisation	T		R		A		S	
		+	-	+	-	+	-	+	-
eosinophiles Knochengranulom	li Humerus		X	X			X	X	
Plasmozytom	re Femur	X		X		X		X	
Plasmozytom	re Humerus	X		X		X		X	
Ewingsarkom	re Scapula	X		X				X	

d) Vom Bindegewebe ausgehende Tumoren

Zur Untersuchung gelangten drei Patienten mit benignen fibromatösen Tumoren (ein ossifizierendes, zwei nichtossifizierende Fibrome), zwei Patienten mit Riesenzelltumoren im Stadium I und II und ein Patient mit Fibrosarkom.

1.) Bei allen sechs Patienten konnte das Krankheitsgeschehen radiologisch nachgewiesen werden.

2.) Im Thermogramm konnte bei zwei Patienten mit nichtossifizierendem Fibrom keine Temperaturerhöhung registriert werden, während bei einem Fall von ossifizierendem Fibrom ein hyperthermer Bezirk zur Darstellung kam.
Als Temperaturdifferenz gegenüber der gesunden Seite wurden 1,1° C gemessen.
Zwei hinsichtlich ihrer biologischen Dignität schwer beurteilbare Riesenzelltumoren an Femur und Tibia zeigten im Thermogramm Temperaturunterschiede von 3,8° C und 4,2° C.
Ebenfalls einen positiven thermographischen Befund erhielt man in einem Fall von Fibrosarkom, wobei die gemessene Temperaturdifferenz zur Gegenseite 1,6° C betrug. Daß in diesem Fall die Hyperthermie nicht stärker ausgeprägt war, lag wahrscheinlich an der starken Weichteilüberlagerung des Tumors im Bereich des Oberschenkels.

3.) Das Angiogramm ging bei den drei benignen fibromatösen Tumoren, sowie einem Riesenzelltumor (Stadium I) mit einem negativen Befund einher. Bei dem zweiten Fall von Riesenzelltumor (Stadium II) und beim malignen Fibrosarkom konnten die Kriterien für Malignität nachgewiesen werden.

4.) Die Szintigraphie erzielte in sämtlichen Fällen ein positives Ergebnis.

Somit waren sowohl das benigne ossifizierende Fibrom, wie das maligne Fibrosarkom und die Riesenzelltumoren, nicht aber das nichtossifizierende Fibrom thermographisch nachweisbar. Das Szintigramm kam jedesmal zu einer positiven Aussage.

Tab. 4:
Vergleich von Thermographie, Röntgennativbild, Angiographie und Szintigraphie bei fibromatösen Tumoren.

Tumorart	Lokalisation	T		R		A		S	
		+	-	+	-	+	-	+	-
nichtossifizierendes Fibrom	re Femur		X	X			X	X	
nichtossifizierendes Fibrom	re Tibia		X	X			X	X	
ossifizierendes Fibrom	li Tibia	X		X			X	X	
Riesenzelltumor (Stadium II)	re Femur	X		X		X		X	
Riesenzelltumor (Stadium I)	li Tibia	X		X			X	X	
Fibrosarkom	li subaxillär	X		X		X		X	

e) Von Gefäßen ausgehende Geschwülste

Beobachtet wurde eine Patientin mit Rezidiv eines Hämangioendothelioms am rechten Fuß.

1.) Zum Vergleich stand nur das Röntgennativbild zur Verfügung, bei dessen Auswertung man osteolytische Herde nachweisen konnte.

2.) Thermographisch ließ sich eine Überwärmung von 2,2° C im Bereich des gesamten Fußes bis zum proximalen Drittel des Unterschenkels festhalten.

f) sekundäre Knochentumoren

Untersucht wurden drei Patienten mit Skeletmetastasen bei Prostatakarzinom, Hypernephrom und Mammakarzinom.

1.) Die Metastasen waren in allen Fällen im Röntgenbild nachweisbar.

2.) Mit Hilfe der Thermographie konnten bei allen drei Patienten die Metastasenherde registriert werden, wenn auch genaue Angaben über die exakte Lokalisation nicht möglich waren.
Bei dem am Femur lokalisierten Tumor lag die Temperaturdifferenz zur Gegenseite bei 2,0° C. In den beiden anderen Fällen, in denen die Lendenwirbelsäule und das Kreuzbein betroffen waren, konnte zwar die Temperatur nicht mit der Gegenseite verglichen werden, jedoch waren hier die entsprechenden Bezirke deutlich wärmer, als die angrenzenden Wirbelsäulen- und Beckenabschnitte.

3.) Ein Angiogramm wurde bei diesen Patienten nicht angefertigt

4.) Szintigraphisch wurde bei allen drei Fällen ein positiver Befund erhoben.

Zusammenfassend wurde gefunden, daß bei den untersuchten Metastasen die positiven thermographischen Befunde mit entsprechend positiven szintigraphischen Befunden einhergingen.

Tab. 5:
Vergleich von Thermographie, Röntgennativbild, Angiographie und Szintigraphie bei Knochenmetastasen.

Tumorart	Lokalisation	T		R		A		S	
		+	-	+	-	+	-	+	-
Metastasen bei Prostatakarzinom	re Femur	X		X				X	
Metastasen bei Hypernephrom	LWS	X		X				X	
Metastasen bei Mammakarzinom	Kreuzbein	X		X				X	

g) vom Fettgewebe und Muskelgewebe ausgehende Tumoren

Um die Aussagekraft der einzelnen Spezialmethoden auch hinsichtlich ihrer Abgrenzungsfähigkeit zwischen Knochen- und Weichteiltumoren zu prüfen, wurden auch zwei Patienten mit Lipom und ein Patient mit Myosarkom untersucht.

1.) Das Röntgenbild war negativ, da es sich nicht um Knochenprozesse handelte.

2.) Im Thermogramm ließen sich weder bei den benignen Lipomen noch beim malignen Myosarkom Temperaturerhöhungen feststellen.

3.) das Angiogramm wies in einem Fall von Lipom den gutartigen Charakter des Tumors nach. Beim Myosarkom zeigten sich jedoch Zeichen von Malignität.

4.) Im Szintigramm wurde beim Myosarkom (verwendetes Nuklid: ^{67}Ga) und bei einem Lipom ein positiver Befund erhoben, während sich das andere Lipom nicht mit dieser Methode nachweisen ließ.

Tab. 6:
Vergleich von Thermographie, Röntgennativbild, Angiographie und Szintigraphie bei Weichteiltumoren.

Tumor	Lokalisation	T		R		A		S	
		+	−	+	−	+	−	+	−
Lipom	re Hüfte		X		X			X	
Lipom	re Schulter		X		X		X		X
Myosarkom	re Oberschenkel		X		X	X		X	

h) Osteomyelitis

Untersucht wurden sieben Patienten mit akuter und vier Patienten mit chronischer Osteomyelitis.

1.) Im Röntgenbild waren bei allen elf Patienten die osteomyelitischen Herde erkennbar.

2.) Thermographisch konnte nur bei den akuten Osteomyelitiden eine Temperaturerhöhung festgestellt werden, während bei den Fällen von chronischer Osteomyelitis keine Überwärmungen beobachtet wurden. Die Temperaturdifferenz im Vergleich zur kontralateralen Extremität lag bei frischen Prozessen zwischen 2,2° C und 3,6° C. Eine Abgrenzung der Läsion war schwer durchzuführen, meist waren die benachbarten Gelenke ebenfalls hypertherm dargestellt. Bei chronisch rezidivierenden Osteomyelitiden mit jahrelanger Anamnese war die betreffende Extremität sogar kälter.

3.) Angiographisch waren sowohl bei den akuten als auch bei den chronischen Osteomyelitiden keine Malignitätskriterien nachweisbar. Zu erkennen war lediglich eine vermehrte Gefäßzeichnung bei akuten Entzündungen, Rarefizierung und Abbrüche größerer Gefäße bei chronisch rezidivierenden Osteomyelitiden.

4.) Im Szintigramm konnte bei akuten und chronischen Entzündungsherden eine vermehrte Anreicherung des ossotropen Radionuklids beobachtet werden.

Tab. 7:
Vergleich von Thermographie, Röntgennativbild, Angiographie und Szintigraphie bei Osteomyelitiden.

Erkrankung	Lokalisation	T		R		A		S	
		+	-	+	-	+	-	+	-
akute Osteomyelitis	li Tibia	X		X				X	
akute Osteomyelitis	re Tibia	X		X			X		
akute Osteomyelitis	re Radius	X		X					
akute Osteomyelitis	re Tibia	X		X			X		
akute Osteomyelitis	li Tibia	X		X			X	X	
akute Osteomyelitis	re Tibia	X		X			X	X	
akute Osteomyelitis	li Femur	X		X			X	X	

Erkrankung	Lokalisation	T		R		A		S	
		+	-	+	-	+	-	+	-
chron. Osteomyelitis	re Tibia		X	X			X	X	
chron. Osteomyelitis	li Tibia		X	X			X	X	
chron. Osteomyelitis	re Femur		X	X				X	
chron. Osteomyelitis	li Tibia		X	X			X	X	

i) Tumorähnliche Knochenerkrankungen

Die unter dieser Überschrift zusammengefaßten Erkrankungen zeigten oftmals ein klinisches Bild, das dem der echten Knochentumoren sehr ähnlich war.

1.) Der Röntgenbefund war in allen in Tabelle 8 aufgeführten Fällen mit einer Ausnahme (agressive Fascitis) positiv.

2.) Das Thermogramm erbrachte bei folgenden Krankheitsprozessen positive Ergebnisse: Melorheostose, chronisch fibrosierende Entzündung, je eine aneurismatische und juvenile Knochenzyste, fibröse Dysplasie und zweimal agressive Fascitis.
Ein negativer thermographischer Befund wurde bei einer aneurismatischen Knochenzyste, einem Gichttophus und in einem Fall von idiopathischem Sudeck erhoben.
Die Temperaturdifferenzen bei den positiven Thermogrammen waren bei der agressiven Fascitis mit 5,2° C und bei der chronisch fibrosierenden Entzündung mit 5,0° C am ausgeprägtesten. In den anderen Fällen waren lediglich Unterschiede von 1,0° C bis 2,8° C meßbar.

3.) Im Angiogramm ergaben sich bei den untersuchten Fällen (Melorheostose, chronisch fibrosierende Entzündung, aneurismatische Knochenzyste, Gichttophus, agressive Fascitis) keinerlei Hinweise für Malignität.

4.) Das Szintigramm war in allen durchgeführten Fällen positiv. (Melorheostose, chronisch fibrosierende Entzündung, aneurismatische Knochenzyste, fibröse Dysplasie, Gichttophus, idiopathischer Sudeck, agressive Fascitis)

Tab. 8:
Vergleich von Thermographie, Röntgennativbild, Angiogramm und Szintigraphie bei tumorähnlichen Erkrankungen.

Art der Erkrankung	Lokalisation	T		R		A		S	
		+	-	+	-	+	-	+	-
Melorheostose	re Femur	X		X			X	X	
chron.- fibrosierende Entzündung	li Tibia	X		X			X	X	
aneurismatische Knochenzyste	li Femur		X	X			X	X	
aneurismatische Knochenzyste	li Tibia	X		X					
juvenile Knochenzyste	re Femur	X		X					
fibröse Dysplasie	li Fibula	X		X				X	
Gichttophus	li Kleinzehe		X	X			X	X	
idiopath. Sudeck	li Unterschenkel		X	X				X	
agressive Fascitis	li U.- schenkel	X			X		X		
agressive Fascitis	li subaxillär	X		X				X	

VII. DISKUSSION

Die Untersuchungen zeigen, daß Knochentumoren und tumorartige Knochenerkrankungen kein gesetzmäßiges Bild in ihrer thermographischen Darstellbarkeit vorweisen.
Es gilt somit darzulegen, welche Aussagen diese Methode bei derartigen Erkrankungen zuläßt. (vgl. auch Tab. 9 !)

1.) Früherfassung von Knochentumoren

In der frühzeitigen Erkennung von Knochentumoren, und zwar hauptsächlich von Knochenmetastasen, liegt eine große Anwendungsmöglichkeit der Thermographie.
Die von uns untersuchten Patienten mit primären und sekundären Knochentumoren wiesen zwar alle bereits röntgenologisch nachweisbare Knochenveränderungen auf, jedoch wurden von NOTTER und MELANDER Fälle beschrieben, bei denen sich thermographisch Temperaturerhöhungen nachweisen ließen, bevor im Röntgenbild destruktive und entkalkende Prozesse sichtbar waren.
POSER, LANGE und MÖRSDORF bestätigten diese Angaben aufgrund eigener Untersuchungen ebenso, wie GERSHON- COHEN und HENKEL und WATMOUGH.

Da die Früherfassung metastatischer Knochenherde für die Prognose und die einzuschlagende Therapie von größter Wichtigkeit sind, könnte die Thermographie in der Früherfassung von Knochenmetastasen einige Bedeutung erlangen. Aus denselben Gründen bietet sie sich zur Rezidiverfassung von Knochentumoren an.

Ähnliche Bedeutung bei der frühzeitigen Erkennung von Knochentumoren kann der Knochenszintigraphie beigemessen werden. Mit dieser Methode kann man bereits Herde, die erst zu 20% bis 30% demineralisiert sind, nachweisen. Während eine Knochenläsion einen Mindestdurchmesser von einem Zentimeter aufweisen muß, um radiologisch erkennbar zu sein, gelingt es der Szintigraphie, auch kleinere Prozesse mit gesteigertem Knochenstoffwechsel zu erfassen.
Ebenso wie die Thermographie kann deshalb auch die Szintigraphie zum Nachweis oder Ausschluß von Skeletmetastasen bei Karzinomen, die bevorzugt in die Knochen metastasieren, angewandt werden.

2.) Lokalisation und Ausdehnung

Eine exakte Lokalisation und Abgrenzung der Knochenläsion im Thermogramm ist nicht immer möglich. Dies ist auf die Beeinflussung der Messung durch eine Reihe von endogenen und exogenen Faktoren zurückzuführen. Bedeutung erlangten für die thermographische Untersuchung vor allem folgende (NOTTER, MELANDER):

1. die Wärmedifferenz zwischen Tumorgewebe und Umgebung, die bedingt wird durch:
   a) die Wärmeproduktion im Tumor
   b) die wärmeableitende venöse Drainage des Tumors
   c) das Wärmeleitvermögen der den Tumor umgebenden Gewebe
2. die Größe des Tumors
3. die Tiefenlage des Tumors
4. die Temperatur der Hautoberfläche
5. die Raumtemperatur

6. die Wärmeempfindlichkeit und das geometrische Auflösungsvermögen des Thermographen.

Die endotumorale Wärmebildung, die ja hauptsächlich vom Vaskularisierungsgrad und von der Stoffwechselaktivität des Tumors abhängt (BRANEMARK, NILSSON), kann somit in vielfacher Weise bei der thermographischen Messung beeinflußt werden. So kann beispielsweise ein dicker Weichteilgürtel am Oberschenkel die Wärme eines am Femur lokalisierten Tumors fast völlig nach außen hin isolieren.

Auf die Einflußmöglichkeiten der Hautbeschaffenheit hat MÖRSDORF hingewiesen. Er konnte zeigen, daß beträchtliche Meßdifferenzen bei schuppiger, psoriatischer Haut und der von Schuppen befreiten Haut bestanden. Dagegen bestehen bei unterschiedlicher Hautpigmentierung keinerlei Meßunterschiede.
Ferner können entzündliche oder traumatische Weichteilprozesse die Messung zusätzlich beeinflussen, so daß eine Beurteilung nur schwer möglich wird.
Auf die Beeinflussung der Hauttemperatur durch die Durchblutung, Raumtemperatur, Nahrungsaufnahme, Nikotingenuß u. ä. wurde schon hingewiesen.

Somit sind genaue Lage und Ausdehnung eines entzündlichen oder tumorösen Knochenprozesses im Thermogramm meist nur sehr schwer anzugeben.

Der Szintigraphie gelingt es jedoch hinsichtlich Lokalisation und Ausdehnung einer Knochenläsion genauere Angaben zu machen. So können beispielsweise auch Herde erfaßt werden, die in den Markraum infiltrieren und radiologisch nicht nachweisbar sind.

Dadurch kann ein Prozeß mit gesteigerter Osteogenese in seiner gesamten Ausdehnung erkannt werden, was sowohl im Falle einer Resektion oder Amputation, als auch bei einer Bestrahlung von größter Bedeutung ist.
Schließlich kann im Szintigramm der Sitz der Läsion zum korrespondierenden Röntgenbild leichter zugeordnet werden, als dies beim Thermogramm der Fall ist.

Auch die Angiographie vermag - was Lokalisation und Ausdehnung des Tumors betrifft - wertvolle Hinweise zu geben. Durch diese Methode kann ebenfalls die Lage von nicht schattengebenden Tumoren festgestellt werden.

3.) Differentialdiagnose: Knochentumoren - tumorartige Knochenerkrankungen

Ein hyperthermer Bezirk im Thermogramm läßt noch keine artspezifische Aussage über die vorliegende Erkrankung zu. Zwar zeigten alle unsere malignen und auch ein Teil der benignen Knochentumoren eine deutliche Überwärmung, jedoch ist dieses Charakteristikum durchaus nicht allein für Knochentumoren kennzeichnend.
Eine Hyperthermie über den entsprechenden Hautarealen zeigen auch Knochenentzündungen, wie zum Beispiel die akute Osteomyelitis. Diese Beobachtungen werden von POSER bestätigt. Chronische Osteomyelitiden gehen dagegen nicht mit Überwärmung einher, in manchen Fällen zeigen sie sogar eine Verminderung der Oberflächentemperatur über dem entsprechenden Extremitätenabschnitt.
Auch andere Knochenerkrankungen, wie z. B. Melorheostose, aneurismatische und juvenile Knochenzyste und fibröse Dysplasie, zeigen hypertherme Bezirke im Thermogramm.

Mit Hilfe der Thermographie kann also keine Entscheidung getroffen werden, welche Knochenerkrankung nun vorliegt. Zusätzlich können auch Weichteilprozesse, wie beispielsweise Thrombophlebitiden oder Furunkulosen zur Überwärmung der Haut über dem betreffenden Skeletabschnitt führen, so daß diese Methode auch nicht zwischen Knochen- und Weichteilerkrankungen unterscheiden kann.
Die Thermographie gibt deshalb keine artspezifische Diagnose, aber sie kann Einblick in die Dynamik eines Prozesses geben.

Der Szintigraphie gelingt es zwar unter Verwendung von myotropen bzw. ossotropen Radionukliden zwischen Prozessen am Muskel und Knochen zu differenzieren, jedoch ist es nicht möglich, Knochentumoren und Knochenentzündungen gegeneinander abzuklären. Auch eine Unterscheidung gegenüber anderen Knochenerkrankungen, wie z. B. Melorheostose, Knochenzysten, fibröse Dysplasie u. a. ist szintigraphisch allein nicht durchführbar.

Ebenso kann auch die Angiographie nicht mit letzter Sicherheit eine Artdiagnose erbringen. So läßt sich beispielsweise das Ewingsarkom weder im Röntgennativbild noch im Angiogramm von einer floriden Osteomyelitis unterscheiden.

Die endgültige Klärung bleibt daher der Probebiopsie vorbehalten.

4.) Biologische Dignität

Bei den malignen primären Knochentumoren und bei den Metastasen konnten wir in jedem Fall eine Hyperthermie feststellen.

Dieses Ergebnis steht im Einklang mit ähnlich angelegten Untersuchungen von POSER.
Auch NOTTER und MELANDER beobachteten bei den von ihnen untersuchten Knochenmetastasen bei Mammakarzinomen in der Regel eine Temperatursteigerung von 2° C und mehr.
Wir fanden bei malignen Knochentumoren eine Hyperthermie von 1,6° C bis 7,3° C. Der Holländer AARTS fand ebenso wie der Amerikaner GERSHON- COHEN bei primären und sekundären Knochentumoren eine signifikante Überwärmung.
BRASHFIELD, LAUGHLIN und SHERMAN schließlich konnten ebenfalls Knochenmetastasen bei Bronchialkarzinomen thermographisch nachweisen.

Die eigenen Untersuchungen bei malignen Knochentumoren stimmen somit mit den in der Literatur beschriebenen Ergebnissen überein.

Bei benignen Knochentumoren und tumorartigen Knochenläsionen wurden nur vereinzelt bisher im medizinischen Schrifttum Resultate thermographischer Untersuchungen mitgeteilt.
POSER beispielsweise stellte fest, daß bei zwei von ihm untersuchten Osteomen keine Temperaturerhöhungen zu registrieren waren. Dies steht im Einklang mit den eigenen Beobachtungen. Daraus kann jedoch nicht der Schluß gezogen werden, daß benigne Knochentumoren grundsätzlich keine Hyperthermie aufweisen. Wir konnten aufgrund unserer Untersuchungen vielmehr zeigen, daß man beim Chondrom, Osteochondrom, Chondroblastom und ossifizierenden Fibrom eine Temperaturerhöhung registrieren kann, wenn auch die Temperaturdifferenz hierbei nicht so ausgeprägt ist (im Vergleich zur gesunden Gegenseite: 1,1° C bis 4,0° C), wie bei den malignen Tumoren.(bis 7,3° C). Dennoch ist der Temperaturunterschied so groß, daß er im Thermogramm in Erscheinung tritt.

Aus diesen Beobachtungen ist zu schließen, daß die Thermographie eine Beurteilung der biologischen Dignität nicht zuläßt. Entdeckt man aber andererseits einen "hot spot" im Thermogramm, den man durch die klinische Untersuchung nicht erklären kann, so bedarf er unbedingt der Abklärung durch zusätzliche Spezialmethoden, um einen malignen Prozeß auszuschalten.

Auch mit Hilfe der Szintigraphie sind benigne und maligne Prozesse nicht abzuklären, denn alle Tumoren, die selbst Knochen bilden, oder ihre Umgebung zur Osteogenese anregen, zeigen eine erhöhte Aktivitätsanreicherung. Auch gutartige Tumoren, wie das Osteoidosteom oder das Osteoklastom ergeben positive Szintigramme.

Die Angiographie dagegen vermag wertvolle Hinweise auf die biologische Dignität des Tumors zu geben, auch wenn sie nicht mit letzter Sicherheit eine Entscheidung treffen kann.

5.) Verlaufskontrolle

Zur Verlaufskontrolle bietet sich vor allem die Angiographie an. Dies trifft sowohl für die Rezidiverkennung, als auch für die Überwachung semimaligner Tumoren, die zur malignen Entartung neigen, zu.

Ähnlich kann die Szintigraphie eingesetzt werden, wenn auch ihre Anwendungsmöglichkeiten gegenüber der Angiographie eingeschränkt sind, beispielsweise etwa nach Operationen.

Die Thermographie kann die Befunde der anderen Spezialuntersuchungen bei Verlaufskontrollen lediglich untermauern.

TAB. 9 Vergleich von Thermographie, Angiographie und Szintigraphie bei 5o Patienten mit Knochentumoren und tumorartigen Knochenerkrankungen.

	Tumor	Thermogramm +	Thermogramm −	Angiogramm +	Angiogramm −	Szintigramm +	Szintigramm −
BENIGNE	Osteogene Tumoren[1]						
	Chondrogene Tumoren[2]						
	Fibrogene Tumoren[3]						
	Eosinoph. Granulom						
	tumorähnliche Läsionen des Skelets[4]						
	akute Osteomyelitis						
	chron.Osteomyelitis						
	Riesenzelltumoren						
MALIGNE	Osteosarkome						
	Chondrosarkome						
	Fibrosarkom						
	Myelogene Tumoren[5]						
	Metastasen						

1) Osteogene Tumoren: Osteoidosteom (3), Osteom (1)

2) Chondrogene Tumoren: Osteochondrom (4), Chondrom (3), Chondroblastom (1), Chondromyxoidfibrom (1)

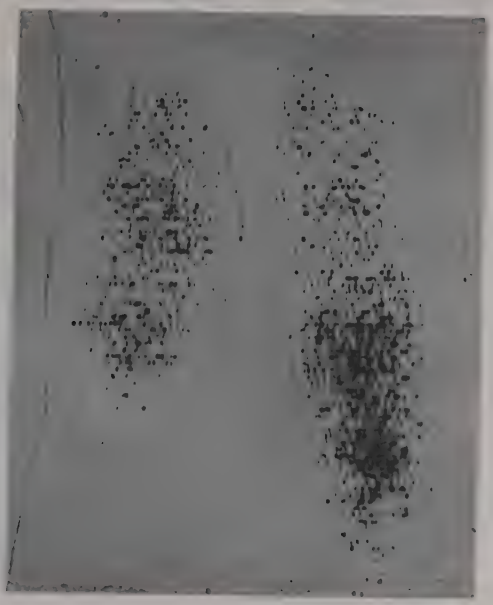
3) Fibrogene Tumoren: nichtossifizierendes Fibrom (2), ossifizierendes Fibrom (1)

4) Tumorähnliche Läsionen: Melorheostose(1), chron.-fibrosierende Entzündung(1), aneurismat. Knochenzyste(2), juvenile Knochenzyste(1),fibröse Dysplasie(1),Gichttophus(1),idiopath, Sudeck

5) Myelogene Tumoren: Plasmozytom (2), Ewingsarkom (1)

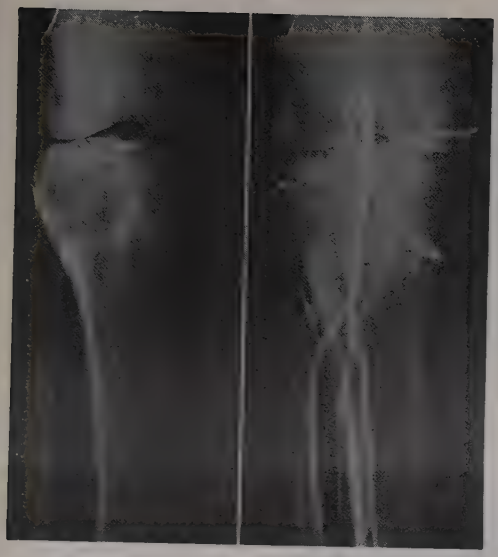
a) b)

c)

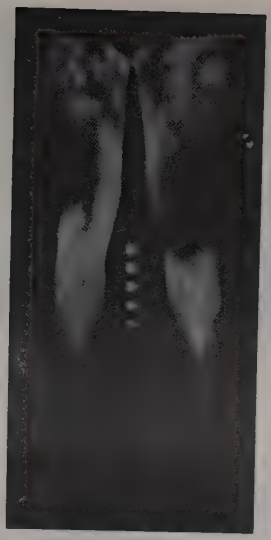


d)

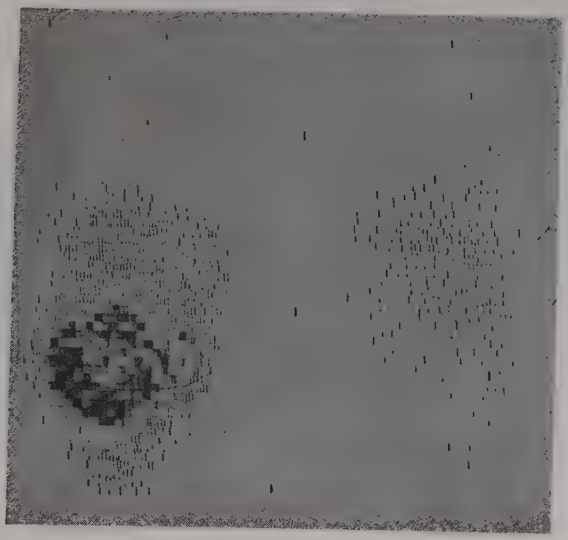
Abb. 5:
Ossifizierendes Fibrom bei 14-jährigem Mädchen:
a) Nativbild, b) Angiogramm, c) Thermogramm, d) Szintigramm



a) b)

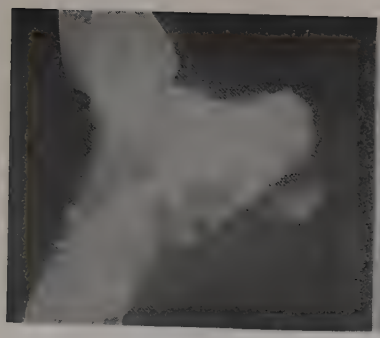


c)

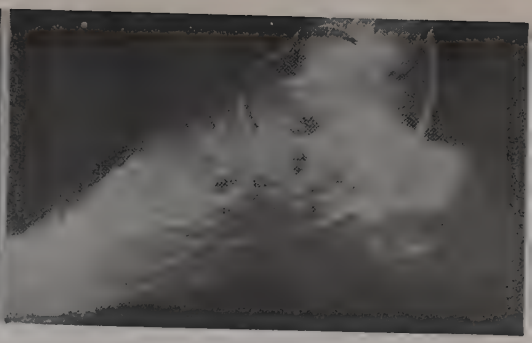


d)

Abb. 6:
Chondromyxoidfibrom bei 29-jährigem Mann:
a) Nativbild, b) Angiogramm, c) Thermogramm, d) Szintigramm

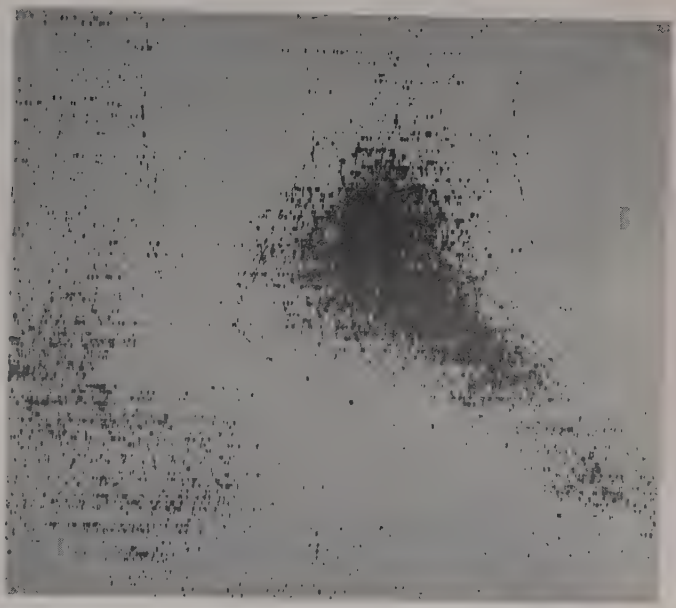


a)



b)

c)



d)

Abb. 7:
Chondrosarcom bei 39-jähriger Frau:
a) Nativbild, b) Angiogramm, c) Thermogramm, d) Szintigramm

6.) Belastung des Patienten

Die Komplikationsrate der Femoralisangiographie beträgt etwa 0,1%. Wird die Untersuchung in Allgemeinnarkose durchgeführt, besteht außerdem die Möglichkeit eines Narkosezwischenfalls.

Nicht zu vernachlässigen ist bei der szintigraphischen Untersuchung die Strahlenbelastung, die vor allem beim ^{85}Sr sehr hoch ist. Deshalb sollte dieses Radioisotop zumindest bei Kindern und Jugendlichen nicht angewendet werden.

Die Methode der Thermographie ist im Gegensatz zur Angiographie und Szintigraphie absolut ungefährlich und nicht strahlenbelastend. Sie kann deshalb sowohl Kindern, als auch alten und schwerkranken Patienten zugemutet werden.

VIII. ZUSAMMENFASSUNG

An der Orthopädischen Universitätsklinik München wurden 56 Patienten mit Knochentumoren oder tumorartigen Knochenläsionen thermographisch untersucht. Die Ergebnisse der Thermographie wurden mit korrespondierenden Befunden von Röntgennativaufnahme, Angiographie und Knochenszintigraphie verglichen.
Dabei wurde festgestellt:

1.) Die Thermographie bietet sich neben der Angiographie und Szintigraphie zur Früh- und Rezidiverfassung maligner Knochentumoren an. Ferner kann sie die Befunde anderer Untersuchungen bei Verlaufskontrollen untermauern.

2.) Thermographisch allein kann keine artspezifische Diagnose gestellt werden. Tumoröse Prozesse sind von anderen Knochen- oder Weichteilprozessen mit erhöhter Durchblutung und gesteigertem Stoffwechsel nicht zu unterscheiden.

3.) Lokalisation und Ausdehnung einer Knochengeschwulst oder einer anderen Knochenerkrankung sind im Thermogramm nur vage zu erkennen. Es wird meist ein zu großes und nicht exakt abgrenzbares heißes Areal im Wärmebild aufgezeichnet.

4.) Die Thermographie kann alleine keine Aussage zur Dignität eines Tumors machen. Überwärmungen kommen sowohl bei malignen, als auch bei benignen Tumoren vor.
Die Methode kann aber Einblick in die Dynamik des Tumorwachstums geben.

LITERATURVERZEICHNIS

AARTS, N.J.M. — Thermography in malignant and inflammatory Diseases of the Bones. In: Medical Thermography Karger- Verlag, 1969.

ASCHOFF, I. — Untersuchungen über die Hauttemperatur in Relation zum Durchblutungsmaß. Münchner Med. Wochenschrift, 1955.

BARNES, R.B. — Thermography. Annals of the New York Acad. of Sciences, Vol. 121, 34 (1964).

BECKMANN, L. — Bilddarstellung von Oberflächentemperaturen mit Hilfe der infraroten Eigenstrahlung. Straßbourg, 1966. J. de Radiologie et d'Electrologie 48, 1 - 2 (1967), 35-39.

BRANEMARK, P.J. — J. Electrol. et Radiol. 48, 69 (1967)

BRASHFIELD, LAUGHLIN, SHERMAN — Thermography in the Management of Cancer: a preliminary report. Ann. of the New York Acad. of Sciences Vol. 121, 1964.

BUCHMÜLLER — reff in: BRAMIGK, F.: Über Messungen der Wärmestrahlung der menschlichen Haut und ihre Bedeutung. Dtsch. Arch. Klin. Med. 1944 (1924).

BUCHMÜLLER — reff in: Physikalische Grundlagen der Hautthermometrie bei Strahlungsmessung im Ultraroten. Arch. für phys. Ther. 4 (1965)

BUBSER, H.-P. Thermographische Untersuchungen bei peripheren Nervenläsionen. Med. Diss. in Vorber. Persönliche Mitteilungen (1973).

BÜTTNER, H. Analysefehler und Kontrollmöglichkeiten im klinischen Laboratorium. Method. Inf. Med. 3/4, 105 (1964).

COBET, R., BRAMIGK, F. Über Messung der Wärmestrahlen der menschlichen Haut und ihre klinische Bedeutung. Dtsch. Arch. Klin. Med. 1944 (1924).

DOMINOK, G.W., KNOCH, H.-G. Knochengeschwülste und geschwulstartige Knochenerkrankungen. G. Fischer- Verlag, Jena 1971.

GROS, CH., VROUSOS, C. Thermographie médicale Presse Médicale 74, 1966.

GROS, CH., BOURJAT, P. Die Anwendungsmöglichkeiten der Thermographie. Fortschr. Röntgenstr. u. Nukl.Med. 106/4, 1967.

GROS, CH., WACKENHEIM, A. Thermographie. J. de Radiol. et d'Electrol. 47 (1967).

GERSHON-COHEN, HABERMANN-BRUESCHKE Medical Thermography: a summary of current status. Rad. Clin. of N. America Vol 3/3 (1965).

HALBECK, W. Thermographische Untersuchungen bei Gipsruhigstellung. Med. Diss. in Vorber. Persönl. Mitt. 1973.

HARDY, I.D. The Radiation of Heat from Human Body I. An Instrument for Measuring the Radiation of Surface Temperature and of Skin. J. Clin. Invest. 13 (1934).

HARDY, I.D. The Radiation of Heat from Human Body II. J.Clin. Inv. 13 (1934).

HERSCHEL, C.F.W. reff in BARNES, R. Clinical Thermography. J. of the Amer. Med. Ass. 185 (1963).

HENKEL, L., WATMOUGH, D. Die Thermographie in der Orthopädie. Z. Orthop. 1o6 (1969).

KEYL, W., HÖR, G. Angiographie, Szintigraphie und Thermographie bei Knochentumoren. Münch. Med. Wochenschr. i. Druck.

KROEBEL, W. Physikalische Grundlagen der Hauttemperaturmessung im Ultraroten. Arch. für phys. Ther. 4 (1965).

LAWSON, A.N. Thermography a new Tool in the Investigation of Breast Lesions. Canad. Serv. Med. J. 13 (1957).

MÖRSDORF, D, KÄRCHER, K.H. Die medizinische Anwendung der Infrarotdiagnostik mit Hilfe des Scanningverfahrens. Med. Welt 51, 1968.

NILSSON, A. reff in TISELIUS, P. Studies on Joint Temperature. Acta rheum. Scand. 14,196

NOTTER, G., MELANDER, O. Klinische Diagnostik mit Thermovision. Röntgenblätter 21,2 (1968).

POSER, H. Infrarotthermographie bei Knochenerkrankungen. Therapiewoche 20, 1971.

POSER, H. LANGE, D. Infrarotthermographie. Med. Tech.1(72)

POSER, H., LANGE, D., MÖRSDORF, D. Infrarotthermographie mit einem nuklearmedizinischen Farbscanner. Strahlentherapie 140,1 (1970).

PSCHORR, W. Thermographische Untersuchungen bei traumatischen Kniegelenkserkrankungen. Med. Diss. in Vorber. (1972).

THALMANN, F.H. Die Bedeutung der Thermographie bei der Beurteilung der PCP! Med. Diss. München 1972.

TISELIUS, P. Studies of joint Temperature, joint stiffness and Muscle Weakness in Rheumatoid Arthritis. Acta Rheum. Scand. 16, 1970.

TRÖGER, H. Thermogr. Untersuchungen der unteren Extremitäten bei Ischiaspatienten. Med. Diss. München 1972.

WOLFE, W.L. Infrared Imaging Devieęs in Infrared Medical Radiography. Ann. of the Acad. Sci. 121,4 (1964).

Abbildung 1 und 2 sind entnommen aus: J. Radiol. Electrol. 48,196

Herrn Professor Dr. Karl Viernstein danke ich für die Überlassung des Themas dieser Arbeit.

Mein aufrichtiger Dank gilt Herrn Dr. med. Werner Keyl, Facharzt der Orthopädie, für die freundliche Unterstützung während meiner Arbeit.

LEBENSLAUF

1. Mai 1947	geboren in Münchberg/Ofr. als Sohn des Lehrers Richard Franke und seiner Ehefrau Anni Franke, geb. Bien
1953 - 1957	Erstes und zweites Volksschuljahr an der Uhlandschule in Göppingen, drittes und viertes Schuljahr an der Türken- und Wilhelmschule in München
1957 - 1966	Besuch des humanistischen Maximiliansgymnasiums zu München. Abitur im Juni 1966
1966 - 1968	Zweijährige Militärdienstzeit in Marburg a. d. Lahn und München
1968 - 1974	Studium der Medizin in Würzburg, Lyon und München. Vorphysikum im Herbst 1969, Physikum im Frühjahr 1971 in München. Staatsexamen im Frühjahr 1974 in München.

Peter Franke